
原 著

運動後に行った足浴時（20℃）の筋血液酸素動態の変化

Changes in intramuscular oxygen hemodynamics when the feet were immersed in 20℃ water following exercise

須藤 明治, 渡辺 剛, 角田 直也

Akiahru SUDO, Tsuyoshi WATANABE and Naoya TSUNODA

ABSTRACT

We examined whether the changes in the intramuscular oxygen hemodynamics when the feet were immersed in 20℃ water following exercise had an effect of cooling-down. In this study we observed the circulation of the right vastus medialis muscle with a laser tissue blood-oxygen monitor (tissue oxygen saturation (StO₂) level, tissue hemoglobin (HbT) level, tissue deoxygenated hemoglobin (HbD) level, and tissue oxygenated hemoglobin (HbO₂) level) (BOM-L1TR, OMEGAWAVE; Tokyo) and measured blood flow when the feet of subjects were immersed in water after exercise. 5 males served as subjects. Measurements were made with the subjects in each of 4 conditions, that is at a sitting rest (Pre), exercise (15 minutes of cycling exercise at 75% HRmax), 10minutes of recovery in water (immersion group) and out of water (control group), 5 minutes sitting was the recovery time. Average blood flow after the exercise in the immersion group was higher than that in the control group. HbO₂ levels after exercise in the control group was significantly higher than that of the immersion group. ($P < .001$).

Key words; intramuscular oxygen hemodynamics, 20℃, foot bath, recovery after exercise.

I. は じ め に

球技系スポーツのハーフタイムなどに、アイシングをしたり、水分補給やストッチングをしている選手をよくみることができる¹⁾。更に、最近では、暑熱環境下でのアイシングの重要性も報告されている²⁾。また、激しい運動や長時間の運動後

に疲労回復処置（クーリングダウン）が重要であり、運動後の軽いジョギングなどが、乳酸の消長を促進させることは知られている⁶⁾。しかし、クーリングダウンとして部分的な足浴を用いた例は少ない⁶⁾。

特に、水圧の影響により静脈帰環流が増大し、老廃物の消長にも寄与するのではないかと考えら

れることから、陸上運動直後に足浴の影響を観察することは意義深いと思われる。特に、ヒトが剣状突起レベルの水位に入水すると、水圧により静脈帰還流が増大し、一回心拍出量が増加し心房性Na利尿ペプチドの分泌が促進、レニン分泌やバゾプレッシンの分泌が抑制されることが知られている³⁾。このレニン分泌の抑制作用は、アンギオテンシンⅡやアルドステロンの分泌を抑制することが知られていることから、水中立位時では血管の状態は拡張傾向に向かい、心拍数の減少、血圧の低下が確認されている^{4) 5)}。そこで、本研究では、陸上での運動直後に足浴水温20℃(膝下水位)を行った時の筋組織血液動態及び主働筋群の血流量の影響を観察した。

Ⅱ. 方 法

陸上での運動は、自転車エルゴメーターを使用し、その運動負荷を75% HRmax (60回転/分)を15分間実施した。運動負荷は、75% HRmaxとなるようにあらかじめ被験者に自転車エルゴメーターを用いて最大酸素摂取量を求め設定した。その後20℃の水温の足浴を10分間行った。特に、同一被験者に対し、足浴なしのコントロール実験も実施した。測定項目は、安静時 (Pre)・運動時 (Exercise)・足浴時 (immersion)・足浴後時 (afetr Immersion) の4つのステージにおいて各1分毎に心拍数、右側大腿の内側広筋の筋組織酸素血液動態及び皮膚血流を測定した。筋組織酸素血液動態測定は、経皮的レーザー組織血液酸素モニター (BOM-L1TR, OMEGAWAVE) を用いて、右側大腿内側広筋にセンサーを取り付け、組織内酸素飽和度 (StO₂) と組織ヘモグロビン量 (HbT)、組織脱酸素化ヘモグロビン量 (HbD)、組織酸素化ヘモグロビン量 (HbO₂) を測定した。なお、レーザー組織血液酸素モニターは、送受光間距離30mm一定のセンサーを使用し、内側広筋の筋組織の最も厚い部位の皮膚上に貼付け1秒ごとに測定した。本研究におけるセンサー部位は、

外側顆から大転子までの距離を100%とした場合、近位90%の位置であった。そして、パルオキシメーターハンディ100 (木村医科機械株式会社) を左第二指に装着し、心拍数 (HR) を測定開始から終了まで測定した。皮膚血流はレーザー組織血流計 (FLO-C1) を用いて同部位を測定した。また、皮膚温についても同部位を測定した。尚、各被験者には、インフォームドコンセントを実施し、実験の意義、内容、危険性を十分に説明した上で、実験参加の承諾を得た。結果の処理は、得られた各変数の値は特に記載のない場合を除き、平均値±標準偏差で示した。各変数の2条件間の平均値の差の検定には片側の対応のあるt検定を、また、対応のない2群間の差の検定の場合には対応のないt検定を用いた。統計処理の結果は危険率5%未満をもって有意とした。そして、これらと比較検討する。測定環境は平均水温20.3℃、平均室温25.6℃、水深29cmであった。

Ⅲ. 結 果

1. 被験者の身体的特徴

被験者の身体的特徴について、年齢は平均21.6±0.5歳、身長は平均174.3±6.3cm、体重は平均69.5±7.3kg、体脂肪率 (% fat) は平均18.0±3.7%であった (Table 1.)。

2. 心拍数の変化

運動前の安静時の浸水群は70.2±7.9拍/分、コントロール群は70.0±8.5拍/分であった。運動負荷15分後の浸水群は160.0±8.2拍/分、コントロール群は160.6±8.4拍/分であった。足水浴10分後の浸水群は92.2±8.0拍/分、コントロール群は89.4±15.4拍/分であった。足浴5分後の浸水群は87.8±13.8拍/分、コントロール群は89.6±11.5拍/分であった。安静時、運動負荷時、足浴時、足浴後時のいずれも浸水群とコントロール群の間には統計上有意な差は認められなかった (Fig.1)。

Table 1. Physical characteristics of subjects

	Age (age)	Body height (cm)	Body weight (kg)	%Fat (%)
S.H	21	182.0	73.0	15.0
T.Y	22	168.7	62.0	18.0
K.N	22	167.0	61.1	15.0
E.S	21	177.0	74.6	24.0
R.O	22	177.0	76.6	18.0
Means	21.6	174.3	69.5	18.0
± S.D	±0.5	±6.3	±7.3	±3.7

Values are mean ± S.D.

3. 皮膚温の変化

運動前の安静時の浸水群は32.6℃、コントロール群は33.1℃であった。運動負荷10～15分の平均値の浸水群は36.7 ± 0.2℃、コントロール群は36.7 ± 0.3℃であった。足水浴10分間の平均値の浸水群は36.8 ± 0.2℃、コントロール群は36.8 ± 0.2℃であった。足浴5分後の浸水群は36.0℃、コントロール群は36.1℃であった。安静時、運動負荷時、足浴時、足浴後時のいずれも浸水群とコントロール群の間には統計上有意な差は認められなかった (Fig.2)。

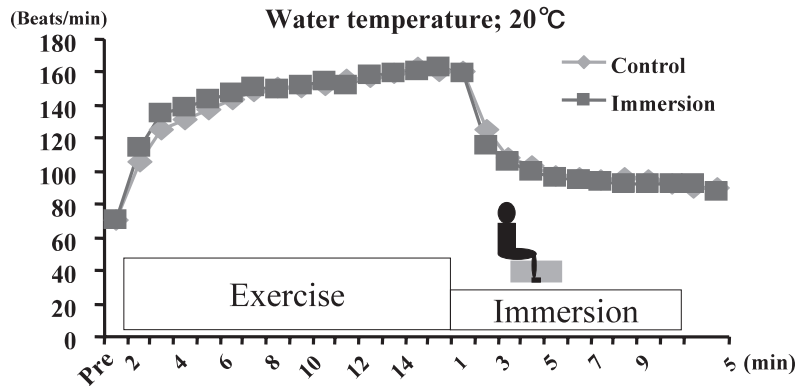


Fig.1 Changes in heart rate.

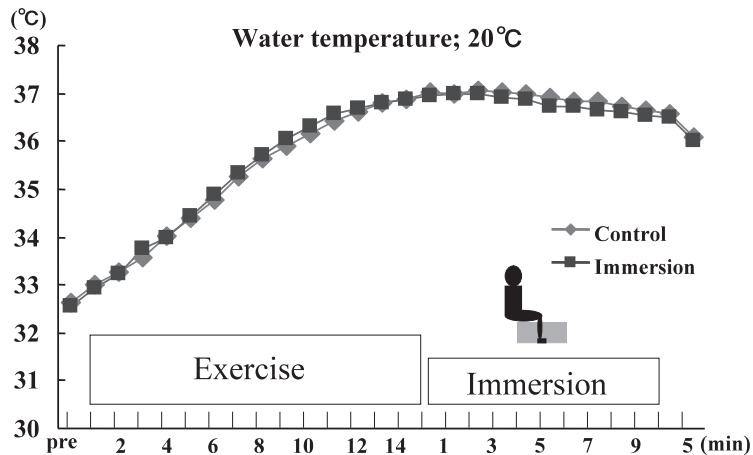


Fig.2 Changes in skin temperature.

4. 皮膚血流量の変化

運動前の安静時の浸水群は 1.1 ± 0.5 (ml/min/100g; 以下 Units と略す) Units、コントロール群は 3.2 ± 1.9 Units あった。運動負荷 15 分後の浸水群は 12.5 ± 1.8 Units、コントロール群は 12.5 ± 4.5 Units であった。足水浴 10 分後の浸水群は 4.8 ± 1.9 Units、コントロール群は 3.6 ± 2.4 Units であった。足浴 5 分後の浸水群は 3.3 ± 0.9 Units、コントロール群は 3.2 ± 0.9 Units であった。安静時、運動負荷時、足浴時、足浴後時のいずれも浸水群とコントロール群の間には統計上有意な差は認められなかったが、足水浴 10 分間の平均値は浸

水群がコントロール群より高値を示す傾向にあった (Fig.3)。

5. HbD の変化

Fig.4 には、運動 15 分間の HbD の平均値を 100 とした時の値の変化を示した。運動前の安静時の浸水群は 81.3%、コントロール群は 71.6% あった。足水浴 10 分間の浸水群の平均値は $48.6 \pm 5.8\%$ 、コントロール群は $51.8 \pm 5.9\%$ であった。足浴 5 分後の浸水群は 56.7%、コントロール群は 54.1% であった。安静時、運動負荷時、足浴時、足浴後時のいずれも浸水群とコントロール群の間には統

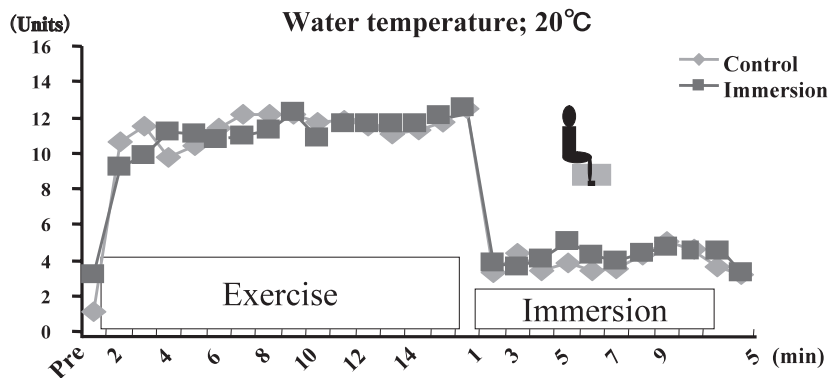


Fig.3 Changes in skin blood flow.

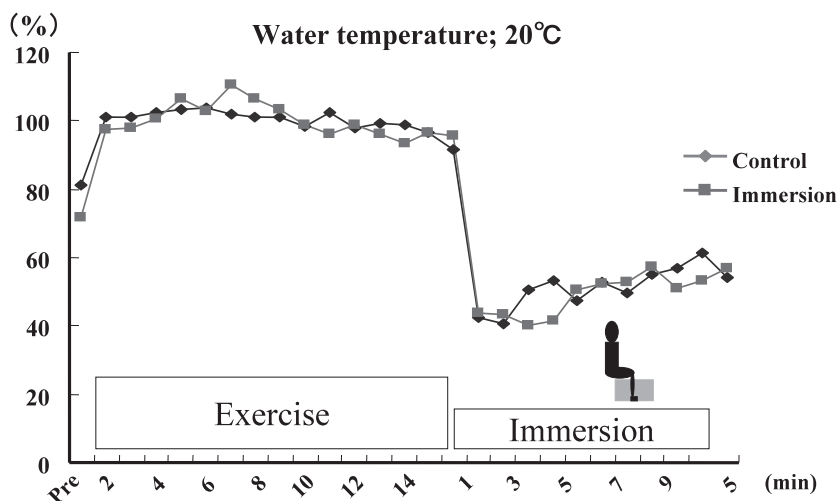


Fig.4 Changes in deoxygenated-hemoglobin (HbD)

計上有意な差は認められなかった。

6. HbO₂の変化

Fig.5には、運動15分間のHbO₂の平均値を100とした時の値の変化を示した。運動前の安静時の浸水群は103.3%、コントロール群は96.3%であった。足水浴10分間の浸水群の平均値は118.5 ± 2.0%、コントロール群は128.0 ± 4.6%であり、両群間には統計上有意な差が認められた (p<0.01)。足浴5分後の浸水群は118.7%、コントロール群は120.2%であった。

Ⅳ. 考 察

スポーツ競技場面では、少ない休息時間で疲れをいかに取るかが重要な課題である⁷⁾⁸⁾。そこで、我々は、全身浴をすることができない場面においても簡易的に水浴の効果が得られないかと考え、運動直後の部分的な足浴が疲労回復にどのような効果をもたらすかを検討している⁶⁾。すでに、我々は、25℃の水温での足浴を行い、HbO₂、HbD及びTHbの運動終了後浸水時の高値、皮膚血流量の上昇などから、25℃の運動後の足浴は、下肢の血流を促進し静脈帰還流を増大させることにより老廃物の除去に貢献していることを確認し

ている⁶⁾。特に、ヒトが剣状突起レベルの水位に入水すると、水圧により静脈帰還流が増大し、一回心拍出量が増加し心房性Na利尿ペプチドの分泌が促進、レニン分泌やバゾプレッシンの分泌が抑制されることが知られている³⁾⁴⁾。このレニン分泌の抑制作用は、アンギオテンシン2やアルドステロンの分泌を抑制することが知られていることから、水中立位時では血管の状態は拡張傾向に向かい、心拍数の減少、血圧の低下が確認されている⁴⁾。つまり、水圧の影響により静脈帰還流が増大し、老廃物の消長にも寄与するのではないかと考えられることから、陸上運動直後に水浴の影響を観察することは意義深いと思われる。しかし、適切な水温の設定も必要であり、特に交感神経系の影響から、水温による違いも検討しておかなければならない課題であると考えていた。そこで、本研究では、水温を20℃に設定した時の足浴の影響を検討した。心拍数の変化については、両群間に大きな差はなかったことから、コントロール実験においても同程度の運動負荷条件であったと考えられた。また、皮膚血流量の変化については、浸水群が高い傾向にあったが、安静時レベルにもどる回復過程であり、水圧の影響があったのではないかと推察されたが、本条件においては低水温により水圧の静脈帰還流の増大現象の影響を少な

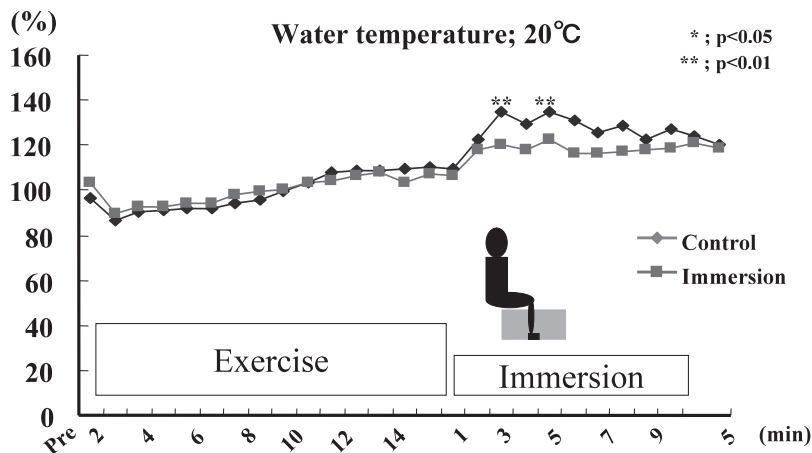


Fig.5 Changes in oxygenated-hemoglobin (HbO₂)

くしているのではないかと思われた。HbO₂は25℃の時と比べ、明らかに20℃は低値を示していたことから、本研究における運動後の足浴において、20℃では25℃より回復過程において好条件であるとはいえないのではないかと考えることができた。特に、今後は被験者の体温の上昇具合との関係も検討する必要があると思われた。

V. ま と め

球技系スポーツのハーフタイムなどに、アイシングをしたり、水分補給やストッチングをしている選手をよくみることができる。更に、最近では、暑熱環境下でのアイシングの重要性も報告されている。陸上運動直後に冷刺激としての足浴の影響を観察することも有用であると思われる。そこで、本研究では、陸上での運動直後に足浴水温20℃(膝下水位)を行った時の筋組織血液動態及び血流量の影響を観察した。運動負荷は、自転車エルゴメーターを使用し、各被験者の75% V_O₂max(60回転/分)時の負荷で15分間実施した。その後の足浴(浸水群)は、水温を20℃とし10分間浸水させた。

1. 皮膚血流量の変化

運動前の安静時の値から、運動時には約12倍の血流量が増加し、運動終了直後に25%程度まで激減し、安静時への値に回復する傾向にあった。安静時、運動負荷時、足浴時、足浴後時のいずれも浸水群とコントロール群の間には統計上有意な差は認められなかったが、足水浴10分間の平均値は浸水群がコントロール群より高値を示す傾向にあった。

2. HbDの変化

運動15分間のHbDの平均値を100とした時の値の変化を示した。運動前の安静時の浸水群は81.3%、コントロール群は71.6%であった。足水浴10分間の浸水群の平均値は48.6 ± 5.8%、コン

ロール群は51.8 ± 5.9%であった。足浴5分後の浸水群は56.7%、コントロール群は54.1%であった。安静時、運動負荷時、足浴時、足浴後時のいずれも浸水群とコントロール群の間には統計上有意な差は認められなかった。

3. HbO₂の変化

運動15分間のHbO₂の平均値を100とした時の値の変化を示した。運動前の安静時の浸水群は103.3%、コントロール群は96.3%であった。足水浴10分間の浸水群の平均値は118.5 ± 2.0%、コントロール群は128.0 ± 4.6%であり、両群間には統計上有意な差が認められた(p<0.01)。足浴5分後の浸水群は118.7%、コントロール群は120.2%であった。

以上のことから、本研究における運動後の20℃の足浴は、皮膚血流量の増大傾向は示したものの、HbO₂が低値を示していたことから、冷刺激の影響が大きく、水圧の静脈帰還流の増大の作用が相殺されていたのではないかと考えられた。

VI. 謝 意

被検者として協力頂いた皆様に感謝いたします。また、今回の研究・実験に御協力くださった有)アプライドオフィス、オメガウェーブ株式会社の皆様に深くこの場をかりて謝意を申し上げます。本研究の一部は、国士舘大学体育学部附属体育研究所の2009年度研究助成によって実施した。

参考文献

- 1) 井上修平、山本正嘉：暑熱環境下と快適環境下における運動間の休息時に行うアイシングの効果；長期間の間欠的運動を対象として，トレーニング科学，21, 4, 357-368, (2009)
- 2) 長谷川博、高津理美、安松幹展：休息間の脚部冷却が暑熱環境下における間欠的運動能力及び生体負担度に及ぼす影響，デサントスポーツ科学，30,

- 181-186, (2009)
- 3) 須藤明治、角田直也、田口信教：水中環境下での脚筋力トレーニングは筋血流制限下のトレーニングといえるのか、*デサントスポーツ科学*, **22**, 193-203, (2001)
 - 4) 須藤明治、角田直也、田口信教、小宮節朗、井尻成幸：高血圧者における水中浸漬時の水圧が筋組織血液動態に及ぼす影響について、*デサントスポーツ科学*, **25**, 94-102, (2004)
 - 5) 須藤明治、角田直也、渡辺剛：水中運動後の陸上時の筋組織血液動態、*国士舘大学体育研究所報抜*, **24**, 23-30, (2005)
 - 6) 須藤明治、角田直也、渡辺剛：運動後に行った足浴時の筋血液酸素動態の変化、*国士舘大学体育研究所報抜*, **27**, 37-43, (2009)
 - 7) 垂井彩未、北川薫：高強度運動後の水浸が身体に及ぼす影響～血中乳酸濃度及び心拍数を指標として～、*中京大学体育研究所紀要*, **20**, 35-37, (2006)
 - 8) 芳田哲也、中井誠一、新矢博美、高橋浩二：運動時の温熱ストレスを軽減するための冷却部位に関する基礎的研究、*デサントスポーツ科学*, **25**, 82-87, (2004)